

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE PSICOLOGÍA



**Actividad del sistema de neuronas espejo: Observación, Escucha y
Ejecución de una pieza musical**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL EN PSICOLOGÍA
CON MENCIÓN EN PSICOLOGÍA CLÍNICA**

AUTORA

Sandra Carolina Linares Luque

ASESOR:

Alex Ernesto Dávila Dávila

Lima, Junio, 2019

Agradecimientos

Gracias a todas las personas que contribuyeron de alguna manera en que este trabajo pudiera concluirse.

En especial, a mi asesor de tesis, Álex Dávila, por confiar en mí y en mis habilidades de investigación, a pesar de que el presente trabajo ha sido un reto y me generó algunas dudas en el camino. Y, por haber estado siempre tranquilo, optimista y presente, dispuesto a responder ante cualquier contratiempo que se presentara.

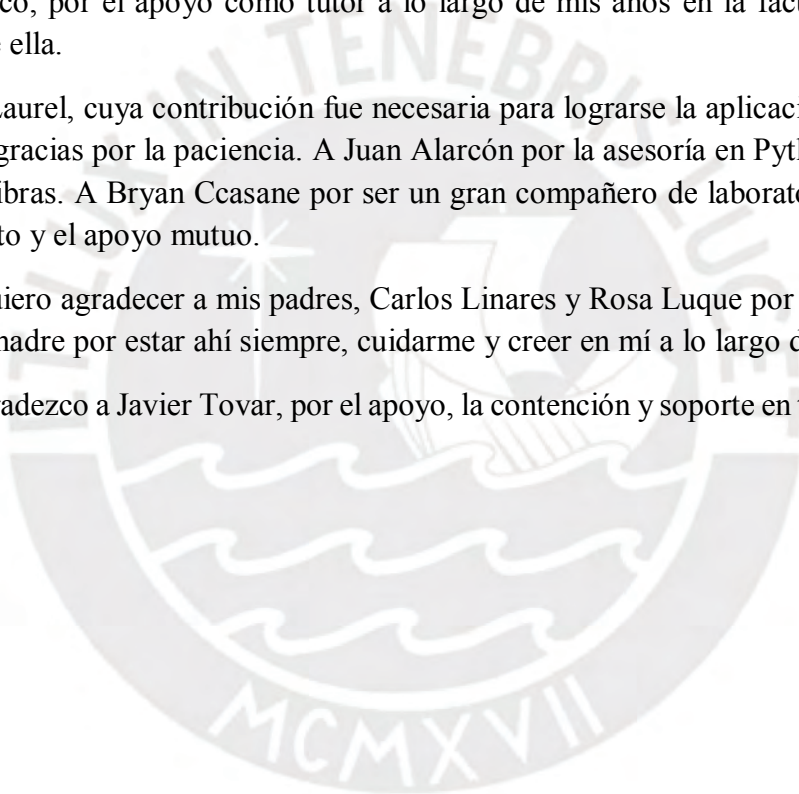
Al CETAM, sin cuyo apoyo institucional no se habría podido lograr la aplicación de este trabajo.

A Carlos Iberico, por el apoyo como tutor a lo largo de mis años en la facultad e incluso ahora, fuera de ella.

A Christihan Laurel, cuya contribución fue necesaria para lograrse la aplicación del modelo experimental, gracias por la paciencia. A Juan Alarcón por la asesoría en Python a distancia y las buenas vibras. A Bryan Ccasane por ser un gran compañero de laboratorio, compartir su conocimiento y el apoyo mutuo.

Finalmente, quiero agradecer a mis padres, Carlos Linares y Rosa Luque por su apoyo, y en especial a mi madre por estar ahí siempre, cuidarme y creer en mí a lo largo de mi vida.

Por último, agradezco a Javier Tovar, por el apoyo, la contención y soporte en todo momento.



Resumen

Es importante comprender los correlatos neuronales de mecanismos asociados a la ejecución de piezas musicales como efecto de exposición a estímulos de tipo auditivo y visual, ya que podría impulsar la investigación de estrategias de terapia que tengan efectos beneficiosos sobre la salud psicológica y física empleando tareas de sonido y movimiento musicales para involucrar al sistema de neuronas espejo. En ese marco, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la actividad del sistema de neuronas espejo. Para ello, se registró la actividad cerebral de seis participantes (tres hombres y tres mujeres) con edades entre 22 y 24 años con un equipo BIOPAC MP160 durante cuatro condiciones experimentales. Las tres primeras consistieron en observar, escuchar o ejecutar una pieza musical sencilla. Por otra parte, la condición de control consistió en observar la interpretación de dicha pieza, adoptando la postura como si fueran a ejecutar la pieza en el instrumento, pero sin hacerlo. Se calculó la desincronización relacionada a eventos en cada condición experimental y en dos bandas de frecuencia. Pruebas de Wilcoxon mostraron que existió desincronización en las condiciones de control, escucha, observación y ejecución. Sin embargo, solo se hallaron diferencias significativas de esta actividad entre los efectos de las condiciones observación y control en la banda alfa. Mientras que, en la banda beta, la condición ejecución presentó diferencias significativas con las condiciones observación y escucha, y entre la condición control y escucha. Se discuten estos hallazgos, así como las limitaciones del estudio y futuras líneas a seguir.

Palabras clave: Sistema de neuronas espejo, electroencefalografía, instrucción musical, percepción y acción.

Abstract

It is important to understand the neuronal correlates of mechanisms associated with the execution of musical pieces as an effect of exposure to auditory and visual stimuli, since it could promote the research of therapy strategies that may have beneficial effects on psychological and physical health using, using musical sound and movement tasks to involve the mirror neuron system. In this context, the present research aimed to determine the activity of the mirror neuron system. To do this, the brain activity of six participants (three men and three women) aged between 22 and 24 years was recorded with a BIOPAC MP160 during four experimental conditions. The first three consisted of observing, listening or playing a simple musical piece. Similarly, the control condition consisted in observing the interpretation of that piece, adopting the posture as if they were going to perform the piece in the musical instrument, but without doing so. The event-related desynchronization was computed in each experimental condition and in two frequency bands. Wilcoxon tests showed that there was desynchronization in the conditions of control, listening, observation and execution. However, significant differences of this activity were only found between the observation and control conditions effects in the alpha band. While, in the beta band, there were significant differences between the execution condition and the observation or listening conditions, and between the control and listening conditions. These findings are discussed, as well as the limitations of the study and future lines to follow.

Key words: Mirror neuron system, electroencephalography, musical instruction, perception and action.

Tabla de contenidos

Introducción	1
Método	11
Participantes	11
Medición	11
Procedimiento	13
Análisis de datos	14
Resultados	17
Discusión	21
Referencias bibliográficas	27
Apéndices	33
Apéndice A: Protocolo de consentimiento informado	33
Apéndice B: Ficha de datos sociodemográficos	34

Introducción

La música es uno de los más antiguos y básicos dominios socio-cognitivos de la especie humana. Se asume que las habilidades musicales desempeñaron un rol filogenético clave para la evolución del lenguaje y que el ejecutar música cubrió funciones evolutivas importantes como la comunicación, la cooperación, la cohesión social y la coordinación de grupos. Durante los últimos años, la música ha sido usada cada vez más como una herramienta para la investigación de la cognición humana y los mecanismos cerebrales que la subyacen (Koelsch, 2011). En ese aspecto la música involucra diversos procesos sensoriales, mediación percepción-acción (actividad del sistema neuronal espejo), cambios en la actividad en áreas centrales de procesamiento emocional, cognición social, entre otros (Koelsch, 2009). De esta manera, la música es un estímulo único, multimodal que implica el procesamiento simultáneo de información visual, auditiva, somatosensorial y motora; y al hacer música, esta información se utiliza para ejecutar y controlar acciones motoras (Schlaug, 2015).

La actividad musical, a nivel profesional, depende de una serie de sub habilidades que están a su vez representadas en redes neuronales superpuestas: habilidades auditivas tales como hallar el tono perfecto, sensibilidad a las variaciones de tiempo y micro tonos, y memoria auditiva de largo plazo son procesadas en los lóbulos temporales de ambos hemisferios, con sesgo del lado derecho; las habilidades sensorio motoras están representadas en áreas corticales premotoras, motoras y parietales, y en estructuras subcorticales del cerebro como los ganglios basales y el cerebelo; en el caso de las habilidades emocionales y de rendimiento, por regiones prefrontales, orbitofrontales y el sistema límbico. Por otra parte, el automonitoreo, anticipación de consecuencias, motivación y atención focalizada implican la labor conjunta de la corteza prefrontal lateral, parietal, estructuras límbicas, núcleo accumbens, junto a estructuras para la memoria como el hipocampo (Altenmüller & Furuya, 2017).

De acuerdo con Pfeiffer y Sabe (2015) y, Leggieri et al. (2019), las actividades musicales o la terapia musical en sí, pueden tener efectos beneficiosos sobre la salud psicológica y física de los individuos en tanto una serie de estudios han demostrado que las actividades de escuchar y, especialmente, ejecutar música activarían diversas estructuras cerebrales involucradas en los procesamiento cognitivo, sensorio motor y emocional. Esto

sería de gran utilidad desde la psicología clínica, ya que algunos trastornos están relacionados con ciertos procesos cognitivos. Un ejemplo de esto son los casos de pacientes con esquizofrenia y trastornos del espectro autista, los cuales presentan impedimentos en las habilidades de lectura mental que representan características psicopatológicas básicas y objetivos terapéuticos clave en estos casos (Ciaramidaro et al., en Minichino & Cadenhead, 2017). Respecto a esto, Wan, Demaine, Zipse, Norton y Schlaug (2010) proponen que, en el caso de las personas con autismo, una intervención diseñada para involucrar las regiones del cerebro que se superponen con el sistema de neuronas espejo puede tener un potencial clínico significativo, argumentando que podría lograrse a través de ejecución musical la mejora de la capacidad para centrarse e interactuar, fomentando el desarrollo de la comunicación y habilidades sociales. En este sentido, un sistema funcional de neuronas espejo (MNS) es considerado un requisito previo de estas habilidades (Minichino & Cadenhead, 2017).

Considerando lo mencionado anteriormente, es importante tomar en cuenta tanto el funcionamiento cerebral como la destreza motriz contemplando una coexistencia entre cognición y funciones corporales, para esto será necesario ahondar primero dentro de un concepto de la psicología cognitiva: “embodied cognition”.

El “embodied cognition” (nueva corriente de las ciencias cognitivas), propone la importancia del rol del cuerpo en los procesos de la cognición humana. Desde esta perspectiva, se podría analizar y comprender la mente humana en su relación con el cuerpo físico en interacción con el medio ambiente, entendiendo a su vez que la cognición humana tendría profundas raíces en el procesamiento sensoriomotriz (Wilson, 2002). Retomándose a partir de ello la idea de que una acción estaría representada en términos de sus consecuencias perceptuales y proponiendo la existencia de una convergencia entre los procesos de percepción y acción en la mente humana (Cross & Elizarova, 2014) en tanto que la percepción provee de guía y retroalimentación para los movimientos que van a ser ejecutados, y serían estos últimos los que permiten la percepción (Smith, Kosslyn, & Barsalou en Paredes, 2017).

Dentro de esta nueva corriente surgió el “Embodied Music Cognition” o EMC (Leman en Maes, Leman, Palmer & Wanderley, 2014) la cual constituye una aproximación al estudio del rol del cuerpo humano en relación con las actividades musicales. A través de este paradigma se asume que la cognición musical es más que el mero procesamiento mental

y sus activaciones cerebrales correspondientes en tanto estaría también situada (incrustada en un entorno) y puesta en práctica mediante la acción (Varela, Thompson, & Rosch; Barsalou, citados en Leman, 2012). Por tanto, la hipótesis del EMC haría referencia a una base orientada a la acción para darle sentido a nuestro medio ambiente (Leman, 2012), para lo cual resulta importante comprender el procesamiento sensoriomotriz (en los procesos de percepción y acción) en este tipo de actividades (Maes, Leman, Palmer & Wanderley, 2014); en otras palabras, el EMC se basa en el supuesto que el compromiso sensorio motor es esencial tanto para la producción (ejecución) como para la percepción musical.

Recientemente, el paradigma del EMC se ha visto duramente criticado debido a la ambigüedad característica de su hipótesis (Matyja, 2016), su calidad de “abstracto” y especulativo (Leman & Maes, en Matyja, 2016). Adelantándose a ello, Leman & Maes (citado en Matyja, 2016) sugirieron necesario que la hipótesis del EMC sea más específica, proponiendo para ello dos caminos: primero mostrar que el “embodiment” juega un papel central en la red interconectada de funciones cognitiva y emocional, y que tal red podría ser crucial en el procesamiento, conceptualización y demás funciones necesarias para “darle sentido” a la música; y, en segundo lugar, dedicarse a encontrar evidencia empírica para hipótesis específicas circunscritas al paradigma que permitan demostrar que el efecto de la acción es esencial para darle sentido a la música.

Sin embargo, no basta con encontrar información que sea consistente con la hipótesis, también se deben encontrar datos en contra de la contradicción de tal hipótesis, por lo que es necesario determinar los aspectos que distinguen los “embodied aspects” del procesamiento musical de los “disembodied” (Matyja, 2016). En este sentido, se propone transitar de la metáfora fenomenológica de cómo “el cuerpo configura el procesamiento musical” a poner esfuerzo por conocer los aspectos fisiológicos de cómo funciona realmente en el cuerpo humano.

Por otro lado, el estudio de las bases neuronales de la percepción-acción se da a partir de las neuronas espejo, las cuales son una clase particular de neuronas visomotoras (Rizzolatti & Craighero, 2004). A su vez, estas neuronas forman un sistema de redes neuronales (Sistema de Neuronas Espejo o MNS) que permite la percepción-ejecución-intención, a través de este sabemos que los comportamientos motores son activados como consecuencia de la mera observación de ciertos movimientos similares, activando en el

cerebro del observador las mismas regiones de la corteza motora tal como si estuviese programando la realización de tales movimientos (García, 2008; Rizzolatti, Cattaneo, Fabbri-Destro, & Rozzi en Paredes, 2017), lo cual implicaría un proceso de asimilación y aprendizaje sobre el entorno. Este sistema complejo está formado por las áreas occipital, temporal, y visual parietal, junto a dos regiones corticales: parte rostral del lóbulo parietal inferior, y la parte baja del giro precentral junto a la parte posterior del giro frontal inferior (Rizzolatti & Craighero, 2004).

Las neuronas espejo posibilitan la comprensión de las intenciones y comportamientos de quienes nos rodean al posibilitar que el cerebro construya progresivamente descripciones cada vez más complejas partiendo de un mero “*movimiento biológico*” y culminando en la descripción de acciones dirigidas hacia una acción, facilitando de ese modo la interacción social (Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, 2001).

Como antecedente al descubrimiento de las neuronas espejo, se mostró que neuronas con propiedades visuales complejas similares a las de las neuronas F5 están presentes en el lóbulo temporal (Perret et al., 1989). Es con el estudio de Di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese, y Rizzolatti (1992) que se halla que en el área F5 existía un gran número de neuronas que se activaban tanto cuando un movimiento era ejecutado por un macaco como cuando un movimiento similar era ejecutado por los experimentadores humanos (neuronas espejo), descubriendo su presencia en la corteza premotora ventral (PMv) de los monos macacos. Rizzolatti (1994), posteriormente concluye que estas neuronas permiten el reconocimiento de eventos motores y el uso de esa información motora para la ejecución de comportamientos similares. Finalmente, el mismo mecanismo enlazando la observación y ejecución de una acción fueron hallados en el cerebro humano a través de técnicas electrofisiológicas no invasivas tales como electroencefalograma (EEG), estimulación magnética transcraneal (TMS) y otras técnicas de imágenes (Fadiga, Tia, & Viaro, 2015).

En cuanto a su localización, Grèzes, Armony, Rowe y Passingham (2003), indicaron que la corteza premotora ventral y el gyrus frontal inferior (área 44) correspondían al correlato anatómico humano del área F5 encontrado en los macacos estudiados originalmente en el descubrimiento de las neuronas espejo. Estas neuronas también fueron encontradas en otras áreas frontales y en la corteza parietal inferior (Fogassi et al., 2005).

En la actualidad, se considera que la base neuroanatómica del circuito o red de neuronas espejo en humanos estaría formado por regiones en las áreas frontal y parietal de la corteza cerebral, específicamente en la corteza premotora ventral (PMv), incluyendo la parte posterior del giro frontal inferior y el lóbulo parietal inferior (IPL) junto a regiones corticales localizadas dentro del sulcus intraparietal (IPS) (Blank, Scott, Murphy, Watburton, & Wise, y Rizzolatti & Craighero, en Fadiga et al., 2015 y Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, en Piechowski-Jozwiak, Boller, & Bogousslavsky, 2017), corroborándose lo señalado anteriormente por Grèes et al. (2003).

Una manera de medir la actividad de las neuronas espejo es obtener los correlatos neuronales de los procesos de percepción y acción de los movimientos musicales planificados a través de un electroencefalograma. Esto puede darse atendiendo específicamente la actividad en la supresión de las ondas mu (Cannon et al., 2014; Meirovitch, Harris, Dayan, Arieli, & Flash, 2015), en tanto existiría un decrecimiento de la potencia mu durante la ejecución, imaginación y observación de un movimiento (Pfurtscheller & da Silva, 1999).

El ritmo mu es una oscilación de electroencefalografía (EEG) con frecuencias dominantes en las bandas de 8-13 Hz y 15-25 Hz (Pineda, 2005 y Hobson & Bishop, 2016), y se registra a partir de electrodos en el cuero cabelludo correspondientes a las regiones sensoriomotoras del cerebro (Hobson & Bishop, 2016). Estas oscilaciones se limitan a períodos breves de 0.5 a 2 s de duración y se pueden registrar sobre la corteza sensoriomotora humana en ausencia de movimiento. Debido a esto, el ritmo mu se concibió originalmente para reflejar un "ralentí" cortical o estado de trabajo "nulo", similar al ritmo alfa clásico, pero actualmente se sabe que la fenomenología del ritmo mu se asemeja a la de la actividad de las neuronas espejo, al ser ambas susceptibles al movimiento, así como a imaginación motora y cognitiva y tener fuentes neuronales superpuestas en redes frontoparietales sensoriomotoras, estando relacionadas en la vinculación de la percepción y la acción (Pineda, 2005 en Montiroso, Piazza, Giusti, Provenzi, Ferrari, Reni, & Borgatti, 2019).

Como a toda disminución en la potencia de una banda de frecuencia específica en la actividad EEG se le denomina desincronización relacionada a eventos (DRE) (Pfurtscheller & da Silva, 1999), lo que se busca en la medición es hallar dicho fenómeno en la actividad de las ondas mu de los participantes del experimento.

Respecto a este método existe en la actualidad notable controversia sobre su eficacia en la medición del sistema de neuronas espejo. Entre las problemáticas halladas son centrales la evidencia de efectos de ondas alfa durante la supresión de ondas mu (Hobson & Bishop, 2016), el hallazgo es que las ondas mu serían sensibles a la actividad en áreas involucradas en el procesamiento visomotor, el cual no está considerado parte del sistema de neuronas espejo (Braadbaart, Williams, & Waiter, 2013) y que la potencia de las ondas mu podría estar influenciada por el proceso atencional antes que por la actividad de las neuronas espejo (Aleksandrov & Tugin en Hobson & Bishop, 2016).

Frente a tal controversia, Hobson y Bishop (2016) realizaron el estudio más ambicioso hasta la fecha con el fin de probar la eficacia de la medición del sistema de neuronas espejo a través de la supresión de ondas mu. Para ello examinaron la actividad de dichas ondas en 61 adultos del Reino Unido comparando diferentes métodos de base y examinando la actividad de electrodos centrales y occipitales. Se concluyó que las ondas mu serían definitivamente responsivas frente a la actividad de la corteza motora; sin embargo, frente a un estímulo observado pasivamente el método de base sería crucial, aceptando a su vez que este método permitiría estudiar el sistema de neuronas espejo en humanos, pero advirtiéndole que su efecto puede ser fácilmente confundible con la actividad de las ondas alfa. Por tanto, para la presente tesis se seguirán los lineamientos considerados importantes para futuras investigaciones por los autores: la inclusión no sólo de los efectos experimentales en los sitios centrales, y la elección de una línea de base en los experimentos de supresión de ondas mu.

Por otro lado, investigaciones recientes han demostrado que las redes de neuronas espejo pueden ser modificadas por entrenamiento sensoriomotor, esto se reporta en la investigación de Catmur, Walsh y Heyes (2007) en la cual encontraron que para alterar el patrón esperado de las neuronas espejo es suficiente con un lapso relativamente corto de instrucción sensoriomotora incongruente. Esto sugiere que la plasticidad dependiente de la experiencia también existe en el sistema de neuronas espejo, lo cual es congruente con literatura existente sobre los cambios cerebrales después de un entrenamiento de habilidades sensoriomotoras y privación sensorial. Esto se ve apoyado por la investigación de Wu, Hamm, Lim y Kirk (2016) en la cual finalmente se concluye que la supresión de ondas mu

podría ser un índice útil para la investigación adicional sobre la representación de la acción y la plasticidad inducida por el entrenamiento sensoriomotor.

En este sentido, que el sistema de neuronas espejo pueda ser modificado a través de entrenamiento sensoriomotor resalta los posibles beneficios de incorporar un componente motor en el tratamiento de trastornos relacionados a una alteración del sistema de neuronas espejo (Wan et al., 2010).

Siguiendo esta línea, la manera de entrenar a las neuronas espejo se puede dar mediante la actividad musical, esta “implica casi cada región del cerebro conocida y casi cada subsistema neural” (Levitin, 2006, p.299) pero en especial las áreas visual, auditiva y motora del cerebro (Cho, 2019). Overy y Molnar - Szackacs (2009) sostienen que al hacer música a través de actividades que implican imitación y sincronización se pueden activar zonas cerebrales que se superponen con regiones que presumiblemente contienen neuronas espejo (áreas 44 y 45 de Brodmann), siendo la música percibida como un acto motor expresivo intencional, debido a esto las actividades musicales pueden ser particularmente útiles para el tratamiento de trastornos del desarrollo.

Se han realizado diversos estudios ligando la actividad del sistema de neuronas espejo con la escucha, observación y ejecución musical. Respecto a la relación con escuchar y observar música, existen diversos estudios importantes que señalar: Ohnishi et al. (2001) realizaron un experimento comparando la actividad cerebral de músicos y no músicos ante la tarea de percibir música escuchándola encontrando actividad neuronal distintiva en áreas auditivas asociativas y en la corteza prefrontal de músicos entrenados, esto fue medido a través de imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf). Posteriormente, Hasegawa et al. (2004) realizaron un experimento similar en que a los participantes se les dividió en tres grupos: músicos pianistas (con más de ocho años de experiencia tocando), músicos con poco entrenamiento y personas sin entrenamiento. A estos se les presentó un video sin sonido centrado sólo en la mano de un pianista ejecutando una pieza musical muy conocida, otra poco conocida y una secuencia musical aleatoria. Utilizando IRMf se observó que sólo en el primer grupo se activó el área del “planum temporale”, región cerebral que integra la información visual y auditiva. Lo que habría ocurrido es que durante el procesamiento de la información visual observada (la secuencia de movimientos de los dedos) ésta se habría “transformado” a una modalidad auditiva. Haslinger et al. (2005) por su parte usaron claves

auditivas y visuales (material audiovisual) para registrar a través de IRMf la actividad cerebral de músicos pianistas y no músicos durante la tarea de observar los movimientos de la mano del músico, al ejecutar la pieza y al realizar movimiento de pulgares oponibles. El resultado fue que en el grupo de músicos pianistas hubo mayor actividad en la red fronto-parieto-temporal lo cual reflejaría la actividad del sistema de neuronas espejo. Más recientemente, Wu et al. (2016) haciendo uso de un EEG demostraron que la supresión de ondas mu (usadas comúnmente para representar el accionar del sistema de neuronas espejo al observar movimiento) puede también hacer referencia a la representación de la acción para los sonidos en un grupo de pianistas. Hou et al. (2017) estudiaron la actividad de las neuronas espejo a través de IRMf en músicos y no músicos cuando estos observaban piezas musicales ejecutadas en piano. En el primer grupo (músicos) se dio una mayor activación de neuronas espejo en varias regiones de su cerebro sugiriéndose que ello no se daría sólo como consecuencia de la acción imaginada frente a un movimiento observado, sino que tanto el nivel de experticia de los sujetos como el conocimiento de los movimientos motores asociados que el sujeto observador trae a la situación observada tendrían repercusión en tal activación.

En cuanto a la relación encontrada entre la actividad del sistema de neuronas espejo y la ejecución musical, Gardner, Aglinskys y Cross (2017) realizaron un entrenamiento en guitarra a sus participantes para probar la relación entre familiaridad con el movimiento y el compromiso con la red de acción - observación (AON por sus siglas en inglés) durante tareas de observación y ejecución. Esta red incluye regiones occipitotemporales asociadas a la observación de cuerpos en movimiento, corteza premotora y el lóbulo parietal inferior, conteniendo estas dos últimas regiones neuronas espejo, las cuales demostrarían una respuesta similar durante la observación y ejecución de acciones en el cerebro humano (Gazzola & Keysers, citado en Gardner et al., 2017). Se obtuvieron resultados consistentes respecto del involucramiento de la red de acción-observación durante las tareas de observación y ejecución propuestas. Además, se corrobora uno de los principales hallazgos de investigaciones neurofisiológicas de las neuronas espejo en primates: que el perfil de respuesta de algunas células dentro de las cortezas parietal y premotora durante la observación es comparable al mismo perfil de respuesta de las mismas durante la ejecución de la acción.

En este sentido, la relevancia de la presente tesis reside en que proveería información acerca de los correlatos neuronales de mecanismos relacionados a ejecución como efecto de percepción auditiva y visual. Además, podría impulsar la investigación de estrategias de terapia que tengan efectos beneficiosos sobre la salud psicológica y física, empleando tareas de sonido y movimiento musicales como una intervención para involucrar al sistema de neuronas espejo.

Respecto a las neuronas espejo, la música y su relación con la salud, se reseñan a continuación algunas evidencias empíricas. Ante la evidencia que algunas de las neuronas espejo podrían responder ante sonidos que son específicos para acciones (neuronas espejo audio visuales) (Kohler et al., en Carvalho et al., 2013) se sugiere la posibilidad que el deterioro de la función auditiva podría ser restaurada a través de procedimientos de entrenamiento del sistema de neuronas espejo, siendo la música un medio ideal en tanto permite la transmisión de información visual, auditiva, somatosensorial y propioceptiva de manera simultánea. Así mismo, la actividad cerebral musical relacionada con la imitación y sincronización coincidiría con las regiones cerebrales relacionadas con el sistema de neuronas espejo (D'Ausilio; Molnar-Szakacs & Overy, en Carvalho et al., 2013) y el giro frontal inferior y corteza premotora ventral (pertenecientes al sistema de neuronas espejo) participarían en la escucha y ejecución de música (Fadiga, Craighero, & D'Ausilio, en Carvalho et al., 2013), lo cual sería evidencia para considerar el potencial del sistema de neuronas espejo durante comportamientos relacionados con la música.

Por todo lo anterior, esta tesis tiene como objetivo investigar los efectos de la instrucción musical en la actividad del sistema de neuronas espejo durante la observación, escucha y ejecución de una pieza musical sencilla. De esta forma, se espera encontrar que existirá actividad del sistema de neuronas espejo durante la observación, escucha y ejecución de la pieza musical, siendo esta mayor durante la ejecución. Además, se espera que esta sea mayor en estudiantes con instrucción musical en comparación a los otros grupos (con poca instrucción musical y sin instrucción musical). Asimismo, se espera encontrar que, durante la observación, escucha y ejecución de la interpretación de la pieza musical existirá mayor actividad en comparación a la condición de control.



Método

Participantes

Para el presente estudio se utilizó una muestra de seis participantes (3 hombres y 3 mujeres), con edades entre 22 y 24 años ($M = 23.33$, $DE = 0.82$), estos fueron estudiantes divididos en 3 grupos: con instrucción musical, con poca instrucción musical y sin instrucción musical, y cada grupo estuvo conformado por 2 participantes, los cuales fueron seleccionados de manera no probabilística o intencional, ya que fueron voluntarios con las características requeridas.

Además, como criterio de exclusión se consideró que reportasen problemas auditivos o antecedentes de desórdenes neurológicos o psiquiátricos, y se requirió que presenten una visión normal o corregida.

Asimismo, todos los participantes fueron informados oralmente sobre el procedimiento del estudio y su participación anónima, voluntaria y sin carácter perjudicial. Adicionalmente, se les brindó un consentimiento informado de manera escrita para que sea firmado. Este protocolo de consentimiento informado fue adecuado a lo propuesto por el Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos y Animales de la PUCP (CEISHA).

Por otra parte, la asignación de los participantes a cada secuencia de los bloques control y experimentales, fue llevada a cabo de manera aleatoria.

Medición

Para medir la actividad del sistema de neuronas espejo, se registraron las señales electroencefalográficas de los participantes a través del sistema de adquisición de datos BIOPAC MP160 (2016) y software AcqKnowledge 5 (2016), el cual fue configurado para la tasa de muestreo de 2000 Hz y para emplear filtros en línea de pasa alto y bajo en 0.005Hz y 35 Hz respectivamente. Este estuvo conectado a cuatro amplificadores EEG100C y a un CAP100C que posibilitaron el obtener señales a través de electrodos que fueron posicionados según el Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958).

Los electrodos fueron colocados de manera tal que la obtención de señales procedentes de la corteza motora fue lo óptima posible, para lo cual se colocaron electrodos en las posiciones Cz, Fz y Fpz (Choi, Lee, Wang, & Hong, 2006), además se colocaron electrodos en las posiciones Pz, T3 y T4 considerando también la referencia y la función auditiva.

Asimismo, se verificó que la impedancia se encuentre por debajo de $5k\Omega$ entre cada par de electrodos para evitar la distorsión de valores de los voltajes, siguiendo los estándares de la técnica (Teplan, 2002). Además, se hizo uso del software Psychopy2 (Peirce, 2007), el cual se sincronizó con el equipo para regular la sesión experimental.

Procedimiento

El experimento fue llevado a cabo en el laboratorio de Bioingeniería de la PUCP, el cual cuenta con buena iluminación, en horarios que oscilaron entre las 14:00 y las 20:00.

Para el caso de la presente investigación, se utilizó un diseño experimental mixto, en el cuál la variable a manipular fue condición, que es una variable intrasujetos. Por otro lado, como variable independiente no manipulada se encuentra el nivel de instrucción musical, que es una variable intersujetos, y como variable dependiente se encuentra la banda, la cuál es una variable intersujetos, ya que en cada una de las condiciones se midió el DRE en las bandas alfa y beta.

Los participantes fueron ubicados en una silla frente a un monitor y un teclado musical, y posteriormente se procedió con la colocación de gel conductor y del CAP100C el cuál se colocó a una distancia del 10% del punto de referencia nasión en base a la medida de las dimensiones de la cabeza de cada participante. A continuación, estos fueron examinados en cuatro condiciones experimentales: observación, escucha, ejecución y control.

En las condiciones observación, escucha y ejecución, se les presentó un video de 19 segundos en formato MP4, de la ejecución de una pieza musical pidiéndoles que lo observen mientras se realizaba el registro electroencefalográfico respectivo, se les presentó un material audiovisual de una persona con el instrumento y la pieza musical sonando pero sin interpretarla pidiéndoles que lo observen mientras se realizaba el registro electroencefalográfico respectivo, y se les presentó el mismo video pidiéndoles que traten de

ejecutar la misma acción presentada mientras se realizaba el registro electroencefalográfico, respectivamente. La duración de la tarea fue aproximadamente de 19 segundos.

Por otro lado, en la condición de control se le solicitó al participante que observe un video también de 19 segundos en formato MP4, de una persona con el instrumento y la pieza musical sonando, pero sin interpretarla pidiéndoles que tomen el instrumento y adopten la posición como si fueran a interpretar la pieza, pero sin hacerlo. Se estima que aproximadamente esta tarea duró 19 segundos.

Las cuatro condiciones experimentales contaron con una pantalla gris de descanso previa al estímulo (observación, escucha, ejecución y control) con una duración de 4 segundos (véase figura 1).



Figura 1. Ensayo experimental. Se presentó la pantalla de descanso durante 4 segundos y el video durante 19 segundos secuencialmente.

En este sentido, cada ensayo experimental tuvo una duración de 23 segundos, siendo repetido 40 veces en cada condición. Esta cantidad de veces fue la ideal, considerando la mínima requerida para el procesamiento de señales y el cálculo de la DRE (Pfurtscheller & da Silva, 1999). Además, la sesión experimental fue controlada a través de un computador haciéndose uso del software Psychopy2 (Peirce, 2007).

Asimismo, la sesión experimental se efectuó en cuatro bloques, uno por cada condición experimental. El orden de estos (observación, escucha, ejecución y control) fue alternado de manera tal que se generaron diferentes secuencias y se realizó un contrabalanceo incompleto, asignándose aleatoriamente una a cada participante de cada grupo.

Por otro lado, previo a la sesión experimental los participantes del grupo de “poca instrucción musical” fueron entrenados en la ejecución del instrumento. El entrenamiento duró aproximadamente 6 días, y estuvo completo cuando los participantes pudieron ejecutar una pieza similar a la que les fue mostrada luego sin cometer errores.

Análisis de datos

En cuanto al análisis de datos, estos fueron procesados con el software EEGLAB (v. 14.1.1b), que es un aplicativo de Matlab para el procesamiento y análisis de señal para datos EEG (Delorme & Makeig, 2004). En principio, se segmentaron los datos de EEG recogidos en los 4 bloques en 40 ensayos de 23 segundos de duración, los cuales corresponden a las fases de descanso y estímulo (observación, escucha, ejecución y control) (véase figura 2). Luego, se descartaron los ensayos que incluían artefactos haciendo uso del método de probabilidad (Paredes, 2017). De esta forma se eliminaron los ensayos que mostraban valores de voltaje por debajo o encima de tres desviaciones estándar sobre la media.

Con respecto a la desincronización relacionada a eventos (DRE), se hizo uso del aplicativo de EEGLAB y de la función llamada ERSP (Event Related Spectral Perturbation Calculation) analysis (Cuellar & del Toro, 2017), calculando el DRE en la fase de estímulo (entre el segundo 4 y 19), tomando como línea base el primer segundo de la fase de descanso y como referencia las bandas de frecuencia 8-13Hz y 15-25Hz.



Figura 2. Diagrama de cada ensayo para ser analizado independientemente de la condición experimental. Las secciones sombreadas fueron utilizadas para el análisis EEG. El primer segundo de la fase 1 fue tomado como periodo de referencia para el cálculo de la DRE en la segunda fase.

De esta manera, por cada participante se contó con 8 valores de DRE distribuidos en cuatro condiciones experimentales y dos bandas de frecuencia. Para el análisis de estos datos, se realizó un conjunto de pruebas no paramétricas equivalentes a un análisis de varianza de dos vías dadas las características asimétricas de las distribuciones de los datos. Siendo lo

sugerido como más adecuado con respecto al DRE, ya que puede darse una mejor comparación de los valores (Graumann & Pfurtscheller, 2006)

Las comparaciones estadísticas y gráficas se realizaron con los softwares Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 20.0 (2011) y Windows Microsoft Excel versión 15.0 (2013).





Resultados

En primer lugar, se realizaron análisis descriptivos e inferenciales con el propósito de examinar la distribución y normalidad en cada una de las cuatro condiciones en ambas bandas de frecuencia. Luego, puesto que no todas las variables se distribuían normalmente, se hizo uso de contrastes no paramétricos usando niveles de significación de .017 y de .025 en función al número de comparaciones realizadas en cada prueba, los cuales fueron corregidos por el método de Bonferroni (Shaffer, 1995) para evitar el error tipo I para la decisión de rechazar las hipótesis nulas de los análisis.

A continuación, se hizo uso de la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de una muestra, mostrándose que hubo diferencias significativas entre la condición cero y la DRE en la condición ejecución en la banda alfa ($p < .001$) y en la banda beta ($p < .001$), observación en alfa ($p < .001$) y en beta ($p < .001$) y en escucha en la banda alfa ($p = .002$) y beta ($p = .007$).

Luego, se hizo uso de la prueba de Friedman, mostrándose que hubo diferencias significativas entre las condiciones experimentales en la banda alfa ($p = .036$) y en la banda beta ($p = .034$). Ver Tabla 1.

Tabla 1.

Prueba de Friedman según nivel de instrucción musical en las bandas alfa y beta

	Banda alfa	Banda beta
Sig. exacta	.036	.034

Posteriormente, se realizaron pruebas de rangos con signo de Wilcoxon, a nivel descriptivo para la banda alfa la condición observación (Mdn= -1.11) tuvo valores de DRE más pronunciados que la condición ejecución (Mdn= -.86), la condición control (Mdn = -.47) y la condición escucha (Mdn = -.23). Y que, para la banda beta la condición ejecución (Mdn= -.52) tuvo valores DRE más pronunciados que la condición observación (Mdn = -.41), la condición escucha (Mdn = -.34) y la condición control (Mdn = -.29). Ver Tabla 2.

Tabla 2.
Estadísticos descriptivos de Ejecución, Observación y Control en la banda alfa y beta

	N	Banda alfa			Banda beta		
		<i>Mdn</i>	Cuartil inferior	Cuartil superior	<i>Mdn</i>	Cuartil inferior	Cuartil superior
Ejecución	30	-0.8626	-1.4430	-0.1148	-0.5181	-0.8887	-0.3285
Observación	30	-1.1126	-1.5029	-0.2334	-0.4085	-1.0263	-0.1529
Escucha	30	-0.2277	-1.3545	0.1030	-0.3391	-0.7531	0.0310
Control	30	-0.4725	-0.8022	0.1275	-0.2944	-2.4360	0.0420

Asimismo, en la banda alfa la condición ejecución, no presentó diferencias significativas con la condición observación ($Z = -.40$) ($r = -.16$), con la condición escucha ($Z = -1.35$) ($r = -.55$) ni con la condición control ($Z = -1.49$) ($r = -.61$). Y que, en la banda beta, la condición ejecución presentó diferencias significativas con la condición escucha ($p = .005$) ($Z = -2.56$) ($r = -1.05$), pero no con las condiciones control ($Z = -.20$) ($r = -.08$) y observación ($Z = -2.05$) ($r = -.84$).

Además, en la banda alfa la condición control presentó diferencias significativas con la condición observación ($p < .001$) ($Z = -3.38$) ($r = -1.38$), pero no con las condiciones escucha ($Z = -.77$) ($r = -.31$) y ejecución ($Z = -1.49$) ($r = -.61$). Y que, en la banda beta la condición control no presenta diferencias significativas con las condiciones observación ($Z = -.46$) ($r = -.19$), ejecución ($Z = -.20$) ($r = -.43$), ni con la condición escucha ($Z = -2.15$) ($r = -.88$).

Por otra parte, en la banda alfa el grupo con instrucción musical ($Mdn = -1.12$) tuvo valores de DRE más pronunciados que el grupo sin instrucción musical ($Mdn = -.52$) y el grupo con poca instrucción musical ($Mdn = -.15$). Y en la banda beta, el grupo con instrucción musical ($Mdn = -.40$) tuvo valores de DRE menos pronunciados que el grupo sin instrucción musical ($Mdn = -.89$) y más pronunciados que el grupo con poca instrucción musical ($Mdn = -.21$). Ver tabla 3.

Tabla 3.
Estadísticos Descriptivos de los grupos según nivel de instrucción musical

Nivel de instrucción musical		DRE de banda alfa	DRE de banda beta
Con instrucción	<i>N</i>	40	40
	Mediana	-1.1185	-.3961
	Cuartil inferior	-1.9784	-1.4139
	Cuartil superior	-0.6017	-0.2107
Con poca instrucción	<i>N</i>	40	40
	Mediana	-.1469	-.2059
	Cuartil inferior	-1.0673	-.5233
	Cuartil superior	.1935	.1007
Sin instrucción	<i>N</i>	40	40
	Mediana	-.5218	-.8914
	Cuartil inferior	-.8744	-1.7136
	Cuartil superior	-.0634	-.2735

Finalmente, se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis comparando nivel de instrucción musical, mostrándose que hubo diferencias significativas en la DRE en la banda alfa ($p < .001$) y en la banda beta ($p = .001$). Ver tabla 4.

Tabla 4.
Estadísticos de contraste Kruskal-Wallis según nivel de instrucción musical en las bandas alfa y beta

	DRE de banda alfa	DRE de banda beta
Sig. asintót (bilateral)	.000	.001

Y luego se realizaron pruebas de U de Mann Whitney para contrastar diferentes niveles de instrucción musical. Mostrándose que en la banda alfa hay diferencias significativas ($U = 434.0$) ($p < .001$) ($Z = -3.52$) entre el grupo con instrucción musical ($Mdn = -1.12$) y el grupo sin instrucción musical ($Mdn = -.52$), mientras que en la banda beta no hay diferencias significativas entre estos grupos.

Asimismo, en la banda alfa hay diferencias significativas ($U = 366.0$) ($p < .001$) ($Z = -4.18$) entre el grupo con instrucción musical ($Mdn = -1.12$) y el grupo con poca instrucción musical ($Mdn = -.15$), mientras que en la banda beta también se encuentran diferencias significativas ($U = 528.0$) ($p = .004$) ($Z = -2.62$) entre estos dos grupos.



Discusión

El objetivo del presente estudio fue determinar la actividad del sistema de neuronas espejo durante la observación, escucha y ejecución de la interpretación de una pieza musical de sencilla ejecución. Los hallazgos, muestran que hubo diferencias significativas entre la condición cero (condición sin ningún tipo de actividad) y la desincronización relacionada de eventos (DRE) de las condiciones experimentales para las bandas alfa y beta. Al ser la DRE en las bandas alfa y beta la forma de determinar actividad del sistema de neuronas espejo (Hobson & Bishop, 2016; Pineda, 2005), estos resultados indican que existe actividad del sistema de neuronas espejo durante la observación, escucha y ejecución de la interpretación de la pieza musical, lo cual confirmaría una de las hipótesis planteadas.

Por otro lado, se encontró que los valores de DRE en la condición ejecución no fueron distintos a los registrados en las condiciones observación, escucha ni control en la banda alfa, y que en la banda beta sí presento valores distintos, pero solo en la condición escucha, no difiriendo de la condición control ni observación, siendo resultados poco concluyentes. Estos resultados no confirmarían una de las hipótesis planteadas ya que era esperado que durante la ejecución existiera una mayor actividad en comparación con otras condiciones (Babiloni et al., 2016).

Asimismo, se encontró que los valores de DRE en la condición control presentaron diferencias a los registrados en la condición observación en la banda alfa, más no con las otras condiciones. Y que, en la banda beta los valores de DRE en la condición control no presentaron diferencias con ninguna de las condiciones. De acuerdo al marco teórico, a estudios previos (Cuellar & del Toro, 2017) y a una de las hipótesis planteadas, lo esperado era que durante la condición de control experimental se registrase una actividad menor del sistema de neuronas espejo en comparación a las otras condiciones, ya que existiría un decrecimiento de la potencia μ durante la ejecución, imaginación y observación de un movimiento (Pfurtscheller & da Silva, 1999), lo cual se cumplió únicamente con la condición observación.

Por otra parte, se mostró que el grupo con instrucción musical, tuvo valores de DRE más pronunciados que el grupo sin instrucción musical y con poca instrucción musical en la banda alfa. Sin embargo, en la banda beta el grupo con instrucción musical tuvo valores

mayores que el grupo con poca instrucción musical, mas no hubo diferencias con el grupo sin instrucción musical. Estos resultados en la banda alfa señalarían que la actividad de neuronas espejo sería mayor en el grupo con instrucción musical a comparación de los otros grupos, lo cual concuerda con estudios previos (Behmer & Jantzen, 2011; Haslinger et al., 2005; Hasegawa et al., 2004; Hou et al., 2017) y cumpliría con la hipótesis planteada. No obstante en la banda beta se cumpliría con la hipótesis de manera parcial y el que no haya diferencias entre el grupo con instrucción y sin instrucción, concuerda con otro estudio que sostiene que el entrenamiento musical no tendría efectos en la supresión de ondas mu (Wu, Hamm, Lim & Kirk, 2017), sin embargo este estudio no explica por qué con el grupo con poca instrucción si se dan diferencias, por lo que podríamos suponer que otros aspectos como la diferencia de las bandas habrían estado implicadas.

En este sentido, se debe tomar en cuenta la diferencia de las bandas de frecuencia alfa y beta asociadas a distintos estados y mecanismos cognitivos. En el caso del ritmo alfa, esta se encuentra relacionada con el estado de alerta sin esfuerzo y creatividad (Nisar & Ho en Kamel & Saeed, 2015), así como a un estado de relajación registrado en la zona occipital del cerebro (Georgieva, Silva, Milanova, & Kabov, 2014), en el que la actividad de las ondas alfa se incrementa (Zainudd, Hussain & Isa, 2014). Mientras que ritmobeta conocidas como el ritmo sensorio-motor, correlacionan con atención activa, pensamiento activo, resolución de problemas críticos y el enfocarse en el mundo exterior (Nisar & Ho en Kamel & Saeed, 2015); y en estado de vigilia mientras se realiza el acto de observar la actividad de las ondas beta es dominante (Zainudd, Hussain & Isa, 2014). Así, se puede decir que las bandas alfa y beta son las dos frecuencias de oscilación prominentes que se sabe que están involucradas en el control de la atención visual humana y la atención consciente (Shapiro, Hanslmayr, Enns & Lleras, 2017), por lo que el tipo de atención que presente el individuo podría haber afectado los valores de actividad en alguna de las bandas y esto podría explicar que no se registren diferencias entrando en contradicción con estudios previos.

Asimismo, para futuros estudios se debe considerar la posibilidad de la interferencia de las diferencias individuales en el funcionamiento de las bandas de frecuencia alfa, las cuales no se pueden controlar y podrían haber afectado los valores en esa banda. Ya que por un lado los límites de las bandas de frecuencia no serían fijos sino variables entre un sujeto y otro (Haegens, Cousijn, Wallis & Harrison & Nobre, 2014), y además, dentro de la banda

alfa las frecuencias individuales podrían correlacionarse con diferentes dimensiones de la personalidad de cada sujeto (Johannisson, 2016), lo cual haría que las diferencias o similitudes entre las personalidades de sujetos también podrían afectar las frecuencias analizadas en esa banda.

Por otro lado, la ausencia de diferencias podría deberse a que el sistema de adquisición utilizado en el presente estudio permitió la medición de actividad EEG en cinco canales solamente, lo cual difiere del procedimiento empleado en estudios previos (Cuellar & del Toro, 2017; Hobson & Bishop, 2016) en los cuales se emplearon hasta 64 canales para recoger las señales de actividad del sistema de neuronas espejo.

A partir de los resultados obtenidos puede sostenerse que en el experimento realizado con respecto a la hipótesis que indicaba que se esperaba encontrar la existencia de actividad del sistema de neuronas espejo durante las condiciones de observación, escucha y ejecución de la pieza musical, se encontró que si hubo actividad en todas las condiciones, lo cual cumple con dicha hipótesis. Por otro lado, respecto a la hipótesis que planteaba que la actividad del sistema de neuronas espejo sería mayor durante la ejecución en comparación con las otras condiciones, se encontró que en la banda alfa no hubo diferencias en esta comparación, mientras que en la banda beta esta fue más pronunciada durante la ejecución en comparación a la condición escucha, lo cual cumple parcialmente la hipótesis. Además, en cuanto a la hipótesis que indicaba que se esperaba encontrar que durante la observación, escucha y ejecución de la interpretación de la pieza musical existiría una mayor actividad en comparación a la condición control, se encontró que en la banda alfa la actividad del sistema de neuronas espejo fue más pronunciada durante la condición observación en comparación con la condición control y no hubo diferencias entre la condición control y las condiciones ejecución y escucha, mientras que en la banda beta no se encontraron diferencias entre la condición control con la condición observación, escucha ni ejecución, cumpliéndose parcialmente con esta hipótesis. Por otra parte, en relación con la hipótesis que planteaba que la actividad del sistema de neuronas espejo sería mayor en estudiantes con instrucción musical en comparación a los otros grupos, se encontró que la actividad fue más pronunciada en el grupo con instrucción musical en comparación a los otros grupos en la banda alfa, pero no hubo diferencias con el grupo sin instrucción musical en la banda beta, cumpliéndose de manera parcial con dicha hipótesis. En este sentido, los resultados no confirman las hipótesis

de trabajo, debido a la falta de diferencias entre algunas de las condiciones, mostrándose contradicciones.

Sobre limitaciones del estudio, se puede mencionar que puede que la tarea de la condición control no haya representado un reposo real para los participantes. Ya que, incluso cuando exteriormente no se muestra algún tipo de interacción directa con el entorno y se asume que la actividad es nula, internamente el cerebro continúa procesando información. En estado de vigilia en reposo, la mente genera pensamientos, activándose el llamado “default network”, el cual está asociado con la generación de pensamiento consciente e imaginaria, lo cual sucede cuando los participantes no están involucrados en el procesamiento de estímulos externos (Wamsley, 2013). Esto podría explicar la actividad cognitiva registrada durante la medición de la condición control y la ausencia de una diferencia significativa entre esta y las otras condiciones.

Asimismo, respecto a la comparación entre niveles de instrucción musical, se podría decir que la atención y motivación que presentaron los participantes durante el estudio varían de individuo a individuo y pueden haberse visto reflejadas en el desempeño de estos y por tanto en los valores registrados. De esta manera, por ejemplo, no solo dependería del nivel de instrucción musical o de experiencia previa, lo cual podría explicar por qué individuos del grupo sin instrucción musical hayan presentado valores más pronunciados de DRE en la banda beta. En este sentido, como sabemos que el ritmo μ es una oscilación de electroencefalografía con frecuencias dominantes en las bandas alfa y beta (Pineda, 2005 y Hobson & Bishop, 2016) y que estas bandas están relacionadas con diferentes tipos de atención esto podría explicar las diferencias de los valores de DRE no solo entre individuos sino entre las bandas. Asimismo, esto abriría el debate ya existente, sobre qué banda está más relacionada con el sistema de neuronas espejo y si la potencia de las ondas μ podría estar influenciada por el proceso atencional antes que por la actividad propia de las neuronas espejo (Aleksandrov & Tugin en Hobson & Bishop, 2016).

Por otro lado, puede que la secuencia de bloques que le haya sido asignada aleatoriamente a cada participante haya afectado su desempeño y por tanto la actividad registrada. Ya que si bien se dio un contrabalanceo, este se dio de manera incompleta. En efecto, el aprendizaje motor observacional puede mejorar la percepción de la acción y la ejecución motora, ya que se adquieren nuevos patrones motores basados en la información

visual presentada por un modelo de ejecución, teniendo como base neurofisiológica de estos procesos a las neuronas espejo (Lago-Rodríguez, Cheeran, Koch, Hortobágyi, & Fernandez del Olmo, 2014). En este sentido, el grado de activación de las neuronas espejo dependería de qué secuencia de bloques atravesase cada participante, ya que una condición de observación antes de una condición de ejecución permitiría además de un mejor desempeño motor una mayor actividad de neuronas espejo.

Estos resultados no pueden ser generalizables debido a que no son concluyentes, sin embargo, para que estos puedan serlo, en estudios futuros se debería contar con un número de muestra que contemple un contrabalanceo de manera completa para que de esta manera se pueda neutralizar en la medida de lo posible efectos de aprendizaje.

Además, cabe mencionar que otra posible limitación haya sido el agotamiento experimental, debido a la duración del experimento, a la atención que se requiere en las cuatro condiciones experimentales, y a la repetición de 40 veces por ensayo en cada condición que se consideró por temas de procesamiento de señales y cálculos de la DRE (Pfurtscheller & da Silva, 1999).

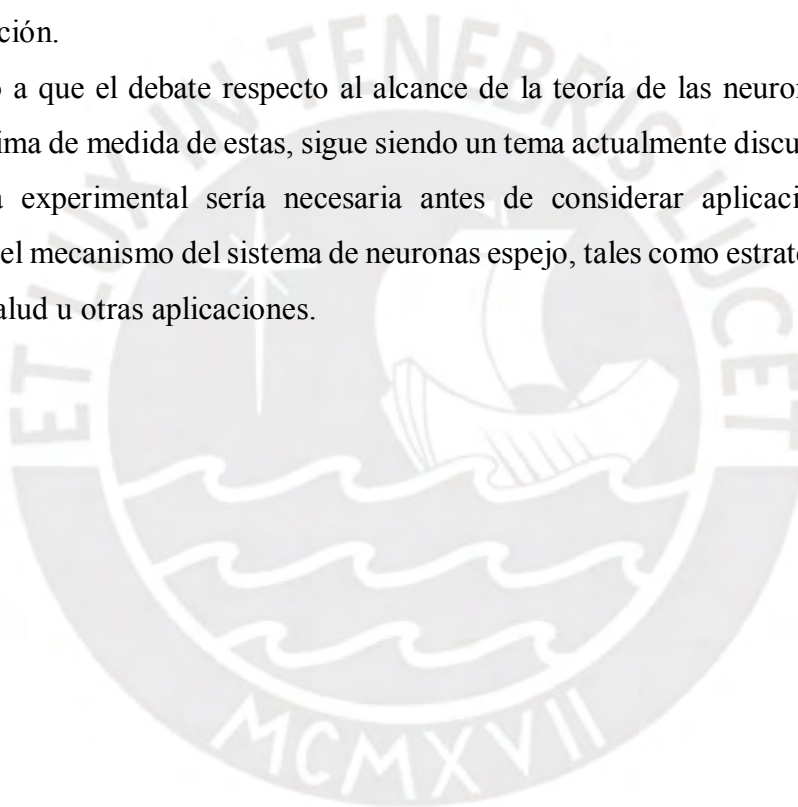
Asimismo, el uso de un mayor número de electrodos sería ideal, ya que podrían tomarse mediciones globales de la actividad y ver los cambios de la banda alfa fuera de los electrodos centrales, para evitar sesgos estadísticos al realizar comparaciones entre condiciones (Hobson & Bishop, 2017).

Además, se sugiere mejorar las condiciones de control adecuadas para las demandas atencionales de las condiciones experimentales, así como mejoras metodológicas para controlar la actividad cognitiva durante la condición de control y EMG, o medios para poder monitorear los propios movimientos de los participantes que podrían afectar los valores presentados en las diferentes condiciones (Hobson & Bishop, 2017).

En concordancia con lo indicado en la introducción, la relevancia de los resultados presentados en esta investigación reside en parte en que nos provee de información acerca de los correlatos neuronales de mecanismos relacionados a ejecución como efecto de percepción auditiva y visual; y que, por otro lado, esto podría impulsar a futuro la investigación de estrategias de terapia que tengan efectos beneficiosos sobre la salud psicológica y fisiológica, empleando tareas de sonido y movimiento musicales como una intervención para involucrar al sistema de neuronas espejo.

Sin embargo, los resultados obtenidos nos sugieren que para poder obtener resultados concluyentes se requiere continuar mejorando la implementación del paradigma experimental utilizado y del análisis de las adquisiciones de señales eléctricas del cerebro adquiridas con el mismo. En este sentido, cabe señalar que, si bien las funciones de análisis de ERSP implementadas en EEGLab ofrecen opciones variadas para los métodos de descomposición de frecuencia, todavía no está claro cuál es el óptimo para demostrar la supresión μ (Hobson & Bishop, 2017). Siguiendo esta línea, sería útil a futuro contar con estudios que comparen diferentes métodos de análisis de las adquisiciones para calcular la supresión μ con el propósito de establecer un método estándar que facilite la replicabilidad de la investigación.

Debido a que el debate respecto al alcance de la teoría de las neuronas espejo y la forma más óptima de medida de estas, sigue siendo un tema actualmente discutible, la mejora del paradigma experimental sería necesaria antes de considerar aplicaciones prácticas contemplando el mecanismo del sistema de neuronas espejo, tales como estrategias de terapia en el área de salud u otras aplicaciones.



Referencias

- Altenmüller, E., & Furuya, S. (2017). Apollos Gift and Curse: Making Music as a model for Adaptive and Maladaptive Plasticity. *e-Neuroforum*, 23(2), 57-75.
- Babiloni, C., Percio, C.D., Vecchio, F., Sebastiano, F., Gennaro, G.D., Quarato, P.P., Morace, R., Pavone, L., Soricelli, A., Noce, G., Esposito, V., Rossini, P.M., Gallese, V., & Mirabella, G. (2016). Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 641-654. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2015.04.068>
- Behmer, L. P., & Jantzen, K. J. (2011). Reading sheet music facilitates sensorimotor mu-desynchronization in musicians. *Clinical Neurophysiology*, 122(7), 1342-1347
- Cannon, E. N., Yoo, K. H., Vanderwert, R. E., Ferrari, P. F., Woodward, A. L., & Fox, N. A. (2014). Action experience, more than observation, influences mu rhythm desynchronization. *PLoS One*, 9(3), e92002. doi:10.1371/journal.pone.0092002
- Carvalho, D., Teixeira, S., Lucas, M., Yuan, T. F., Chaves, F., Peressutti, C., Machado, S., Bittencourt, J., Menéndez-González, M., Nardi, A. E., Velasques, B., Cagy, M., Piedade, R., Ribeiro, P., & Arias-Carrión, O. (2013). The mirror neuron system in post-stroke rehabilitation. *International archives of medicine*, 6(1), 41.
- Catmur, C., Walsh, V., & Heyes, C. (2007). Sensorimotor learning configures the human mirror system. *Current biology*, 17(17), 1527-1531.
- Cho, E. (2019). Sensitive periods for music training from a cognitive neuroscience perspective: A review of the literature with implications for teaching practice. *International Journal of Music in Early Childhood*, 14 (1) pp. 17–33. doi: 10.1386/ijmec.14.1.17_1
- Choi, S. H., Lee, M., Wang, Y., & Hong, B. (2006). Estimation of optimal location of EEG reference electrode for motor imagery based BCI using fMRI. En *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE*, 1193-1196. doi: 10.1109/IEMBS.2006.260270.
- Cross, E. S., & Elizarova, A. (2014). Motor control in action: using dance to explore the intricate choreography between action perception and production in the human brain.

- En *Progress in Motor Control* (pp. 147-160). Springer: New York. doi: 10.1007/978-1-4939-1338-1_10
- Cuellar, M. E., & del Toro, C. M. (2017). Time-Frequency Analysis of Mu Rhythm Activity during Picture and Video Action Naming Tasks. *Brain Sciences*, 7(9), 114. doi:10.3390/brainsci7090114
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9-21. doi: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176–80
- Fadiga, L., Tia, B., & Viaro, R. (2015). Anatomy and Physiology of the Mirror Neuron System. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, 2, 411-416. Doi: 10.1016/B978-0-12-397025-1.00240-2
- Fogassi, L., Ferrari, P., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: From action organization to intention understanding. *Science*, 308, 662-667
- García, E. (2008). Neuropsicología y educación. De las neuronas espejo a la teoría de la mente. *Revista de psicología y educación*, 1(3), 69-90.
- Gardner, T., Aglinskias, A., & Cross, E. S. (2017). Using guitar learning to probe the Action Observation Network's response to visomotor familiarity. *NeuroImage*, 156, 174-189.
- Georgieva, P., Silva, F., Milanova, M., & Kasabov, N. (2014). EEG Signal Processing for Brain–Computer Interfaces. En *Springer Handbook of Bio-/Neuroinformatics* (pp. 797-812). Springer, Berlin, Heidelberg
- Graimann, B., & Pfurtscheller, G. (2006). Quantification and visualization of event-related changes in oscillatory brain activity in the time–frequency domain. *Progress in brain research*, 159, 79-97. doi: 10.1016/S0079-6123(06)59006-5
- Grèzes, J., Armony, J., Rowe, J., & Passingham, R. (2003). Activations related to “mirror” and canonical neurons in the Human Brain: an fMRI study. *NeuroImage*, 18, 928-937.

- Hasegawa, T., Matsuki, K. I., Ueno, T., Maeda, Y., Matsue, Y., Konishi, Y., & Sadato, N. (2004). Learned audio-visual cross-modal associations in observed piano playing activate the left planum temporale. An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20(3), 510-518.
- Haegens, S., Cousijn, H., Wallis, G., Harrison, P. J., & Nobre, A. C. (2014). Inter-and intraindividual variability in alpha peak frequency. *Neuroimage*, 92, 46-55. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.01.049
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmüller, E., Schroeder, U., Boecker, H., & Ceballos-Baumann, A. O. (2005). Transmodal sensorimotor networks during action observation in professional pianists. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(2), 282-293.
- Hobson, H., & Bishop, D. (2016). Mu suppression. A good measure of the human mirror neuron system?. *Cortex, a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 82, 290-310. doi: 10.1016/j.cortex.2016.03.019
- Hobson, H., & Bishop, D. (2017). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Royal Society Open Science*, 4(3), 160662. <http://doi.org/10.1098/rsos.160662>
- Hou, J., Rajmohan, R., Fang, D., Kashfi, K., Al-Khalil, K., Yang, J., & O'boyle, M. W. (2017). Mirror neuron activation of musicians and non-musicians in response to motion captured piano performances. *Brain and cognition*, 115, 47-55.
- Jasper, H. H. (1958). The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 10, 371-375.
- Johannisson, T. (2016). Correlations between personality traits and specific groups of alpha waves in the human EEG. *PeerJ*, 4, 1-20.
- Koelsch S. (2011). Toward a neural basis of music perception - a review and updated model. *Frontiers in psychology*, 2, 110. doi:10.3389/fpsyg.2011.00110
- Koelsch, S. (2009). A Neuroscientific Perspective on Music Therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 374-384. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04592.x
- Lago-Rodríguez, A., Cheeran, B., Koch, G., Hortobágyi, T., & Fernandez del Olmo, M. A. (2014). The role of mirror neurons in observational motor learning: an integrative review. *European Journal of Human Movement*, (32), 82-103.

- Leggieri, M., Thaut, M., Fornazzari, L., Schweizer, T., Barfett, J., Munoz, D., & Fischer, C. (2019). Music Intervention Approaches for Alzheimer's Disease: A Review of the Literature. *Front. Neurosci.* doi:10.3389/fnins.2019.00132
- Lemm S., Müller K-R., Curio G. (2009) A Generalized Framework for Quantifying the Dynamics of EEG Event-Related Desynchronization. *PLoS Computational Biology* 5(8): e1000453. doi:10.1371/journal.pcbi.1000453
- Leman, M. (2012). Musical entrainment subsumes bodily gestures: Its definition needs a spatiotemporal dimension. *Empirical Musicology Review*, 7, 63-67.
- Levitin, D. (2006). *This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. New York: Dutton Penguin
- Matyja, J. (2016). Embodied Music Cognition: trouble ahead, trouble behind. *Frontiers in Psychology*, 7, 1-3.
- Maes, P. J., Leman, M., Palmer, C., & Wanderley, M. M. (2014). Action-based effects on music perception. *Frontiers in psychology*, 4, 1008. doi:10.3389/fpsyg.2013.01008
- Meirovitch, Y., Harris, H., Dayan, E., Arieli, A., & Flash, T. (2015). Alpha and Beta Band Event- Related Desynchronization Reflects Kinematic Regularities. *The Journal of Neuroscience*, 35(4), 1627-1637. doi:10.1523/JNEUROSCI.5371-13.2015
- Minichino, A., & Cadenhead, K. (2017). Mirror Neurons in Psychiatric Disorders: From Neuroception to Bio-behavioral System Dysregulation. *Neuropsychopharmacology*, 42(1), 366. doi:10.1038/npp.2016.220.
- Montirosso, R., Piazza, C., Giusti, L., Provenzi, L., Ferrari, P., Reni, G., & Borgatti, R. (2019). Exploring the EEG mu rhythm associated with observation and execution of a goal-directed action in 14-month-old preterm infants. *Scientific Reports*, (9),8975. doi:10.1038/s41598-019-45495-3
- Nisar, H., & Ho, K. (2015). Introduction. En Kamel, N., & Saeed, A (Ed.), *EEG/ERP Analysis: Methods and applications* (pp 1-20). Florida: Crc Press
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirakata, M., Nishikawa, M., & Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cerebral Cortex*, 11(8), 754-760.

- Overy K., & Molnar-Szakacs I. (2009). Being together in time: musical experience and the mirror neuron system. *Music Perception: An interdisciplinary journal*, 26(5), 489–504. doi: 10.1525/mp.2009.26.5.489
- Paredes, R. (2017). *Actividad del sistema de neuronas espejo durante la percepción y acción de movimientos de dedos*. (Tesis de pregrado). Pontifica Universidad Católica del Perú. Lima.
- Peirce, J. W. (2007). PsychoPy—psychophysics software in Python. *Journal of neuroscience methods*, 162(1), 8-13. doi: 10.1016/j.jneumeth.2006.11.017
- Pfeiffer, C., & Sabe, L. (2015). Music therapy and cognitive rehabilitation: Screening of music cognition in adult patients with right hemisphere stroke. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 25, 392-403. doi: 10.1037/pmu0000123.
- Pfurtscheller, G., & da Silva, F.H. L. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical neurophysiology*, 110(11), 1842-1857.
- Piechowski-Jozwiak, B., Boller, F., & Bogousslavsky, J. (2017). Universal Connection through Art: Role of Mirror Neurons in Art Production and Reception. *Behavioral Sciences*, 7(2), 29. doi: 10.3390/bs7020029.
- Pineda, J. A. (2005). The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” and “hearing” into “doing”. *Brain Research Reviews*, 50(1), 57-68.
- Rizzolatti, G. (1994). Nonconscious motor images. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 220-220.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature reviews neuroscience*, 2(9), 661-670.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192. doi: [10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230](https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230)
- Shaffer, J. P. (1995). Multiple hypothesis testing. *Annual review of psychology*, 46, 561. doi: 10.1146/annurev.ps.46.020195.003021
- Schlaug G. (2015). Musicians and music making as a model for the study of brain plasticity. *Progress in brain research*, 217, 37–55. doi:10.1016/bs.pbr.2014.11.020

- Shapiro, K.L., Hanslmayr, S., Enns, J.T., & Lleras, A. (2017). Alpha, beta: The rhythm of the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(6), 1862-1869. doi:10.3758/s13423-017-1257-0
- Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11.
- Wan C. Y., Demaine K., Zipse L., Norton A., & Schlaug G. (2010). From music making to speaking: Engaging the mirror neuron system in autism. *Brain Research Bulletin*, 82(3-4), 161-168. doi:10.1016/j.brainresbull.2010.04.010
- Wamsley, E. J. (2013). Dreaming, waking conscious experience, and the resting brain: report of subjective experience as a tool in the cognitive neurosciences. *Frontiers in psychology*, 4, 637, 1-7.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 625- 636.
- Wu, C. C., Hamm, J. P., Lim, V. K., & Kirk, I. J. (2016). Mu rhythm suppression demonstrates action representation in pianists during passive listening of piano melodies. *Experimental brain research*, 234(8), 2133-2139.
- Wu, C. C., Hamm, J. P., Lim, V. K., & Kirk, I. J. (2017). Musical training increases functional connectivity, but does not enhance mu suppression. *Neuropsychologia*, 104, 223-233.
- Zainuddin, B. S., Hussain, Z., & Isa, I. S. (2014). Alpha and beta EEG brainwave signal classification technique: A conceptual study. En *Signal Processing & its Applications (CSPA)*, IEEE 10th International Colloquium. (pp. 233-237)

APÉNDICE A

Comité de ética para la investigación con seres humanos y animales- CEI(sha)
Vicerrectorado de Investigación-PUCP

PROTOCOLO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPANTES

El propósito de este protocolo es brindar a los participantes en esta investigación una explicación clara de la naturaleza de la misma, así como del rol que tienen en ella.

La presente investigación es conducida por Sandra Linares, alumna de la facultad de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La aplicación se realiza como parte de su Tesis para optar por el bachillerato, y se encuentra bajo la supervisión del Mag. Álex Dávila (CpsP 10768) del Departamento de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La meta de este estudio es observar a influencia de la música en el funcionamiento cerebral.

Si usted accede a participar en este estudio, se le pedirá observar 4 estímulos audiovisuales y seguir indicaciones, lo que tomará una hora aprox. de su tiempo. Se hará uso de EEG para el recojo de información. Su participación será voluntaria. La información que se recoja será estrictamente confidencial y no se podrá utilizar para ningún otro propósito que no esté contemplado en esta investigación.

En principio, su participación será anónima, por ello se codificará la información utilizando un número de identificación. Si la naturaleza del estudio requiriera su identificación, ello solo será posible si es que usted da su consentimiento expreso para proceder de esa manera.

Si tuviera alguna duda con relación al desarrollo del proyecto, usted es libre de formular las preguntas que considere pertinentes una vez culminada la aplicación. Además puede finalizar su participación en cualquier momento del estudio sin que esto represente algún perjuicio para usted.

Muchas gracias por su participación.

Yo, _____ doy mi consentimiento para participar en el estudio y soy consciente de que mi participación es enteramente voluntaria.

He recibido información en forma verbal sobre el estudio mencionado anteriormente y he leído la información escrita adjunta. Al firmar este protocolo estoy de acuerdo con que mis datos personales, incluyendo datos relacionados a mi salud física y mental o condición, y raza u origen étnico, podrían ser usados según lo descrito en la hoja de información que detalla la investigación en la que estoy participando.

Entiendo que puedo finalizar mi participación en el estudio en cualquier momento sin que esto represente algún perjuicio para mí.

Entiendo que recibiré una copia de este formulario de consentimiento y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando este haya concluido. Para esto, puedo comunicarme con el Mag. Álex Dávila al adavila@pucp.pe.

Nombre completo del (de la) participante

Firma

Fecha

Nombre del Investigador responsable

Firma

Fecha

APÉNDICE B**FICHA DE DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS**

1. Edad: _____
2. Sexo: Hombre ____ Mujer ____
3. Facultad: _____
4. Ciclo: ____
- *De no ser estudiante actualmente mencionar carrera: _____
5. ¿Tienes problemas de visión? Sí ____ No ____
6. ¿Usas anteojos? Sí ____ No ____
7. ¿Tienes problemas de audición? Sí ____ No ____
8. ¿Tienes antecedentes de desórdenes psiquiátricos o neurológicos? Sí ____ No ____
9. ¿Has tenido alguna lesión que haya afectado tu desempeño físico o cognitivo actual?
Sí ____ No ____
10. Finalmente, ¿Qué nivel de instrucción musical posees?
 - Ninguna ____
 - Poca ____
 - Alta/Formal ____